

Интерференция света

Если свет представляет собой поток волн, то должно наблюдаться явление интерференции света. Однако получить интерференционную картину (чередование максимумов и минимумов освещенности) с помощью двух независимых источников света, например двух электрических лампочек, невозможно. Включение еще одной лампочки лишь увеличивает освещенность поверхности, но не создает чередования минимумов и максимумов освещенности.

Выясним, в чем причина этого и при каких условиях можно наблюдать интерференцию света.

Условие когерентности световых волн

Причина отсутствия интерференционной картины в опыте с двумя лампочками в том, что световые волны, излучаемые независимыми источниками, не согласованы друг с другом. Для получения же устойчивой интерференционной картины нужны согласованные волны. Они должны иметь одинаковые длины волн и постоянную во времени разность фаз в любой точке пространства. Напомним, что такие согласованные волны с одинаковыми длинами волн и постоянной разностью фаз называются когерентными.

Почти точного равенства длин волн от двух источников добиться нетрудно. Для этого достаточно использовать хорошие светофильтры, пропускающие свет в очень узком интервале длин волн. Но невозможно осуществить постоянство разности фаз от двух независимых источников. Атомы источников излучают свет независимо друг от друга отдельными «обрывками» (цугами) синусоидальных волн, имеющими обычно длину около метра. И такие цуги волн от обоих источников налагаются друг на друга. В результате амплитуда колебаний в любой точке пространства хаотично меняется со временем в зависимости от того, как в данный момент времени цуги волн от различных источников сдвинуты относительно друг друга по фазе. Волны от различных источников света *некогерентны* из-за того, что разность фаз волн не остается постоянной¹. Никакой устойчивой картины с определенным распределением максимумов и минимумов освещенности в пространстве не наблюдается.

¹ Исключение составляют квантовые источники света — лазеры, созданные в 1960 г.

Юнг Томас (1773—1829) —

английский ученый с необыкновенной широтой научных интересов и многогранностью дарований. Одновременно известный врач и физик с огромной интуицией, астроном и механик, металлург и египтолог, физиолог и полиглот, талантливый музыкант и даже способный гимнаст. Главными его заслугами являются открытие интерференции света (ввел в физику термин «интерференция») и объяснение явления дифракции на основе волновой теории. Первым измерил длину световой волны.



Интерференция в тонких пленках

Тем не менее интерференцию света удастся наблюдать. Хотя ее и наблюдали очень давно, но только не придавали этому значения.

Вы тоже много раз видели интерференционную картину, когда в детстве развлекались пусканием мыльных пузырей или наблюдали за радужным переливом цветов тонкой пленки керосина либо нефти на поверхности воды. «Мыльный пузырь, витая в воздухе... зажигается всеми оттенками цветов, присущими окружающим предметам. Мыльный пузырь, пожалуй, самое изысканное чудо природы» (Марк Твен). Именно интерференция света делает мыльный пузырь столь достойным восхищения.

Английский ученый Томас Юнг первым пришел к гениальной мысли о возможности объяснения цветов тонких пленок сложением волн 1 и 2 (рис. 8.48), одна из которых (1) отражается от наружной поверхности пленки, а

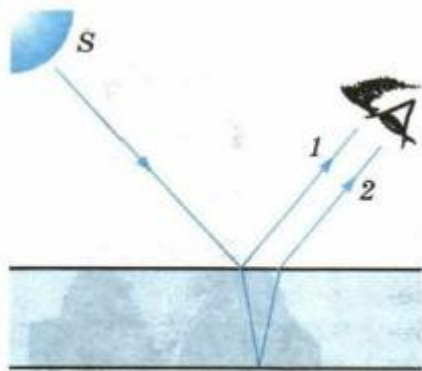


Рис. 8.48

другая (2) — от внутренней. При этом происходит *интерференция световых волн* — сложение двух волн, вследствие которого наблюдается устойчивая во времени картина усиления или ослабления результирующих световых колебаний в различных точках пространства. Результат интерференции (усиление или ослабление результирующих колебаний) зависит от угла падения света на пленку, ее толщины и длины волны света. Усиление света

произойдет в том случае, если преломленная волна 2 отстанет от отраженной волны 1 на целое число длин волн. Если же вторая волна отстанет от первой на половину длины волны или на нечетное число полуволн, то произойдет ослабление света.

Когерентность волн, отраженных от наружной и внутренней поверхностей пленки, возникает из-за того, что они являются частями одного и того же

светового пучка. Цуг волн от каждого излучающего атома разделяется пленкой на два цуга, а затем эти части сводятся вместе и интерферируют.

Юнг понял также, что различие в цвете связано с различием в длине волны (или частоте) световых волн. Световым пучкам различного цвета соответствуют волны с разной длиной волны λ . Для взаимного усиления волн, отличающихся друг от друга длиной волны (углы падения предполагаются одинаковыми), требуется различная толщина пленки. Следовательно, если пленка имеет неодинаковую толщину, то при освещении ее белым светом должны появиться различные цвета.

Кольца Ньютона

Простая интерференционная картина возникает в тонкой прослойке воздуха между стеклянной пластиной и положенной на нее плосковыпуклой линзой, сферическая поверхность которой имеет большой радиус кривизны. Эта интерференционная картина имеет вид концентрических колец, получивших название колец Ньютона.

Возьмите плосковыпуклую линзу с малой кривизной сферической поверхности и положите ее выпуклостью вниз на стеклянную пластину. Внимательно разглядывая плоскую поверхность линзы (лучше через лупу), вы обнаружите в месте соприкосновения линзы и пластины темное пятно и вокруг него совокупность маленьких радужных колец. Это и есть кольца Ньютона. Ньютон наблюдал и исследовал их не только в белом свете, но и при освещении линзы одноцветным (монохроматическим) пучком. Оказалось, что радиусы колец одного и того же порядкового номера увеличиваются при переходе от фиолетового конца спектра к красному; красные кольца имеют максимальный радиус. Расстояния между соседними кольцами уменьшаются с увеличением их радиусов.

Удовлетворительно объяснить, почему возникают кольца, Ньютон не смог.

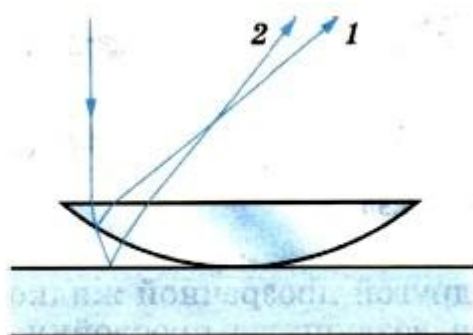


Рис. 8.49

Удалось это Юнгу. Проследим за ходом его рассуждений. В их основе лежит предположение о том, что свет — это волны. Рассмотрим случай, когда волна определенной длины волны падает почти перпендикулярно на плосковыпуклую линзу (рис. 8.49). Волна 1 появляется в результате отражения от выпуклой поверхности линзы на границе сред стекло —

воздух, а волна 2 — в результате отражения от пластины на границе сред воздух — стекло. Эти волны когерентны: они имеют одинаковую длину волны и постоянную разность фаз, которая возникает из-за того, что волна 2

проходит больший путь, чем волна 1. Если вторая волна отстает от первой на целое число длин волн, то, складываясь, волны усиливают друг друга.

Напротив, если вторая волна отстает от первой на нечетное число полуволн, то колебания, вызванные ими, будут происходить в противоположных фазах, и волны погасят друг друга.

Если известен радиус кривизны R выпуклой поверхности линзы, то можно вычислить, на каких расстояниях от точки соприкосновения линзы со стеклянной пластиной разности хода таковы, что волны определенной длины волны λ , гасят друг друга. Эти расстояния и являются радиусами темных колец Ньютона. Ведь линии постоянной толщины воздушной прослойки представляют собой окружности. Измерив радиусы колец, можно вычислить длины волн.

Длина световой волны

В результате измерений было установлено, что для красного света $\lambda_{\text{кр}} = 8 \cdot 10^{-7}$ м, а для фиолетового — $\lambda_{\text{ф}} = 4 \cdot 10^{-7}$ м. Длины волн, соответствующие другим цветам спектра, принимают промежуточные значения. Для любого цвета длина световой волны очень мала. Поясним это на простом примере. Представьте себе среднюю морскую волну длиной волны в несколько метров, которая увеличилась настолько, что заняла весь Атлантический океан от берегов Америки до Европы. Длина световой волны, увеличенной в той же пропорции лишь ненамного превысила бы ширину этой страницы.

Явление интерференции не только доказывает наличие у света волновых свойств, но и позволяет измерить длину волны. Подобно тому как высота звука определяется его частотой, цвет света определяется частотой колебаний или длиной волны.

В природе нет никаких красок, есть лишь волны разных длин волн. Глаз — сложный физический прибор, способный обнаруживать различие в цвете, которому соответствует весьма незначительная (около 10^{-6} см) разница в длинах световых волн. Интересно, что большинство животных не способны различать цвета. Они всегда видят черно-белую картину. Не различают цвета также дальтоники — люди, страдающие цветовой слепотой.

При переходе света из одной среды в другую длина волны изменяется. Это можно увидеть. Заполним водой или другой прозрачной жидкостью с показателем преломления n воздушную прослойку между линзой и пластиной. Радиусы интерференционных колец уменьшатся.

Почему это происходит? Мы знаем, что при переходе света из вакуума в какую-нибудь среду скорость света уменьшается в n раз. Так как $v = \lambda \nu$, то при этом должна уменьшиться в n раз либо частота ν , либо длина волны λ . Но

радиусы колец зависят от длины волны. Следовательно, когда свет входит в среду, изменяется в n раз именно длина волны, а не частота.

Интерференция электромагнитных волн

В опытах с генератором СВЧ можно наблюдать интерференцию электромагнитных волн (радиоволн).



Рис. 8.50

Генератор и приемник располагают друг против друга (рис. 8.50). Затем подносят снизу металлическую пластину в горизонтальном положении. Постепенно поднимая пластину, обнаруживают поочередное ослабление и усиление

звука.

Генератор и приемник располагают друг против друга (рис. 8.50). Затем подносят снизу металлическую пластину в горизонтальном положении. Постепенно поднимая пластину, обнаруживают поочередное ослабление и усиление звука.

Явление объясняется следующим образом. Часть волны из рупора генератора попадает непосредственно в приемный рупор. Другая же ее часть отражается от металлической пластины. Меняя расположение пластины, мы изменяем разность хода прямой и отраженной волн. Вследствие этого волны либо усиливают, либо ослабляют друг друга в зависимости от того, равна разность хода целому числу длин волн или нечетному числу полуволн.

Наблюдение интерференции света доказывает, что свет при распространении проявляет волновые свойства. Интерференционные опыты позволяют измерить длину световой волны: она очень мала — от $4 \cdot 10^{-7}$ до $8 \cdot 10^{-7}$ м.

ЗАДАНИЕ

1. Изучить тему, составить краткий конспект.

2. Вопросы (на 4 и 5 ответить письменно)

1. Как получают когерентные световые волны?
2. В чем состоит явление интерференции света?
3. С какой физической характеристикой световых волн связано различие в цвете?
4. После удара камнем по прозрачному льду возникают трещины, переливающиеся всеми цветами радуги. Почему?

5. Длина волны света в воде уменьшается в n раз (n — показатель преломления воды относительно воздуха). Означает ли это, что ныряльщик под водой не может видеть окружающие предметы в естественном свете?

3. Посмотреть видеофайл по ссылке:

<https://www.youtube.com/embed/m7fIgPFcpro>

Некоторые применения интерференции

Применения интерференции очень важны и обширны.

Существуют специальные приборы — интерферометры, действие которых основано на явлении интерференции. Назначение их может быть различным: точное измерение длин световых волн, показателя преломления газов и других веществ. Имеются интерферометры специального назначения.

Мы остановимся на двух применениях интерференции.

Проверка качества обработки поверхностей

С помощью интерференции можно оценить качество обработки поверхности изделия с точностью до $1/10$ длины волны, т. е. с точностью до 10^{-6} см. Для этого нужно создать тонкую клиновидную прослойку воздуха между поверхностью образца и очень гладкой эталонной пластиной. Тогда неровности поверхности размером до 10^{-6} см вызовут заметные искривления интерференционных полос, образующихся при отражении света от проверяемой поверхности и нижней грани.

Просветление оптики

Объективы фотоаппаратов и кинопроекторов, перископы подводных лодок и различные другие оптические устройства состоят из большого числа оптических стекол — линз, призм и др. Проходя через такие устройства, свет отражается от многих поверхностей. Число отражающих поверхностей в современных фотообъективах превышает 10, а в перископах подводных лодок доходит до 40. При падении света перпендикулярно поверхности доля отраженной от нее энергии составляет 5—9% от всей энергии. Поэтому сквозь прибор часто проходит всего 10—20% поступающего в него света. В результате этого освещенность изображения получается слабой. Кроме того, ухудшается качество изображения. Часть светового пучка после многократного отражения от внутренних поверхностей все же проходит через оптический прибор, но рассеивается и уже не участвует в создании четкого изображения. На фотографических изображениях по этой причине образуется «вуаль». Для устранения этих неприятных последствий отражения света от поверхностей оптических стекол надо уменьшить долю отражаемой энергии света. Получаемое с помощью прибора изображение становится при этом ярче, просветляется. Отсюда и происходит термин **просветление оптики**.

Просветление оптики основано на явлении интерференции. На поверхность оптического стекла, например линзы, наносят тонкую пленку с показателем

преломления $n_{\text{п}}$, меньшим показателя преломления стекла $n_{\text{с}}$. Для простоты рассмотрим случай нормального падения света на пленку.

Для упрощения понимания на рисунке 8.51 показан ход луча, падающего на поверхность раздела под небольшим углом α , однако все вычисления делаем для $\alpha = 0$.

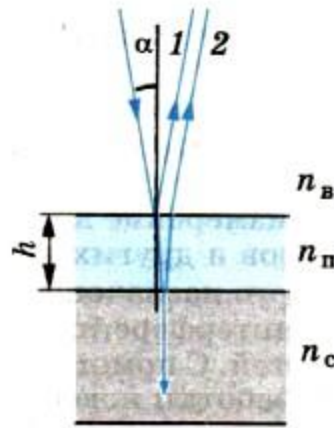


Рис. 8.51

Разность хода световых волн 1 и 2 (см. рис. 8.51), отраженных от верхней и нижней поверхностей пленки, равна удвоенной толщине пленки $2h$. Длина волны $\lambda_{\text{п}}$ в пленке меньше длины волны λ в вакууме в $n_{\text{п}}$ раз:

$$\lambda_{\text{п}} = \frac{\lambda}{n_{\text{п}}}.$$

Для того чтобы волны 1 и 2 ослабляли друг друга, разность хода должна быть равна половине длины волны в пленке:

$$2h = \frac{\lambda_{\text{п}}}{2} = \frac{\lambda}{2n_{\text{п}}}. \quad (8.16)$$

Если амплитуды обеих отраженных волн одинаковы или очень близки друг к другу, то гашение света будет полным. Чтобы добиться этого, подбирают соответствующим образом показатель преломления пленки, так как интенсивность отраженного света определяется отношением коэффициентов преломления двух граничащих сред.

На линзу при обычных условиях падает белый свет. Выражение (8.16) показывает, что требуемая толщина пленки зависит от длины волны. Поэтому осуществить гашение отраженных волн всех частот невозможно. Толщину пленки подбирают так, чтобы добиться полного гашения при нормальном падении для длин волн средней части спектра (зеленый цвет, $\lambda_{\text{з}} \approx 5,5 \cdot 10^{-5}$ см). Она должна быть равна четверти длины волны в пленке:

$$h = \frac{\lambda_a}{4n_n}.$$

Отражение света для крайних участков спектра — красного и фиолетового — будет несколько меньшим. Поэтому объектив с просветленной оптикой в отраженном свете имеет сиреневый оттенок.

Сейчас даже простые дешевые фотоаппараты снабжены просветленной оптикой.

Гашение света светом не означает превращение световой энергии в другие формы. Как и при интерференции механических волн, гашение волн друг другом в данной области пространства означает, что световая энергия сюда просто не поступает. Гашение отраженных волн у объективов с просветленной оптикой приводит к тому, что весь свет проходит сквозь объектив.

ЗАДАНИЕ: изучить тему, составить краткий конспект.

Сфотографировать конспект, подписать Ф.И. и выслать его на почту преподавателя до 27 марта.